



University of Groningen

## Radio recombination line observations of HII regions and planetary nebulae

Roelfsema, Pieter Roelf

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

### *Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

### *Publication date:*

1987

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

### *Citation for published version (APA):*

Roelfsema, P. R. (1987). Radio recombination line observations of HII regions and planetary nebulae. s.n.

### **Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

### **Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

## 10. Samenvatting—summary in Dutch

Tijdens hun leven hebben sterren zeer grote invloed op de hun omringende materie. Dit begint al voor de geboorte van een ster. Een volume interstellair gas dat onder invloed van haar eigen zwaartekracht samenvalt, zal, vanwege die zwaartekracht, meer en meer materie naar zich toe trekken. De dichtheid en temperatuur van deze samenklonterende materie zullen steeds hoger worden. Als de temperatuur en dichtheid hoog genoeg worden, dan zullen er spontaan kernfusiereacties op gaan treden; uit de klont interstellaire materie is een ster ontstaan. De ster gaat nu straling uitzenden. Vooral bij de wat zwaardere sterren is het uitgezonden spectrum zeer rijk aan hoog energetische fotonen. Deze fotonen zullen de resten gas die zich nog rond de jonge sterren bevinden ioniseren. De temperatuur in dit geïoniseerde gas zal oplopen tot  $\pm 10.000$  Kelvin (K). Daar waterstof het meest abundante element is in het universum, bestaan dergelijke gebieden vooral uit geïoniseerd waterstof, ze worden derhalve meestal HII-gebieden genoemd.

In deze geïoniseerde gassen bestaat een voortdurende balans tussen ionisatie en recombinatie van elektronen en ionen. De gerecombineerde elektronen zullen via een cascadeprocesses in lagere energieniveaus van het atoom terecht komen voor er opnieuw ionisatie optreedt. Het resultaat van dit cascadeproces is lijn emissie.

De elektronenovergangen tussen lagere niveaus veroorzaken lijnen in het optische gebied van het spectrum; door overgangen tussen hogere niveaus ontstaan de zogenaamde radiorecombinatielijnen. Omdat radiostraling, in tegenstelling tot zichtbaar licht, niet verzwakt wordt door stofdeeltjes langs de gezichtslijn, kunnen deze radiolijnen gebruikt worden om geïoniseerd gas te bestuderen dat zich achter of in gebieden met stof bevindt. Aangezien het gedrag van deze lijnen (lijnintensiteit, lijnbreedte) sterk afhankelijk is van de fysische omstandigheden zoals temperatuur en dichtheid van het gas, stellen ze ons in staat een bijna directe meting van deze grootheden te verrichten. Tegelijkertijd geven ze informatie over de kinematica van het geïoniseerde gas. Dit soort spectrallijnen kan dus gebruikt worden om bijvoorbeeld de uitdijning van planetaire nevels te bestuderen, of de dichtheids- en temperatuursverdeling in stervormingsgebieden.

Dit proefschrift beschrijft de resultaten van onderzoek door middel van deze radiorecombinatielijnen aan een aantal HII gebieden, aan de planetaire nevel NGC 7027 en aan het actieve melkwegstelsel M82.

De resultaten van het onderzoek aan stervormingsgebieden zijn ruwweg in te delen in drie min of meer aparte categorieën; resultaten afgeleid van lijnen van geïoniseerd waterstof (HII) in stervormingsgebieden, resultaten afgeleid van lijnen van geïoniseerd helium (HeII) in die gebieden en resultaten afgeleid van lijnemissie van geïoniseerd waterstof, koolstof (CII) en mogelijk zwavel (SII) in koele (een temperatuur van ongeveer 100 K) gebieden net buiten de HII gebieden.

De lijnen van de HII gebieden hebben veel informatie verschaft omtrent de dichtheids- en temperatuursverdeling in deze gebieden. De zogenaamde drukverbreding, die plaatsvindt in gebieden met hoge dichtheid (meer dan 10.000 deeltjes per kubieke centimeter), heeft tot gevolg dat de radio-recombinatielijnen breder worden en een lagere piek waarde krijgen. Dit effect is waargenomen in de recombinatie lijnen van verschillende van de bestudeerde HII gebieden. Dit leidt tot de conclusie dat HII gebieden nogal eens 'klonterig'

zijn. Wegens een te gering ruimtelijk scheidend vermogen en een te geringe gevoeligheid van de huidige radiotelescopen is deze klonterigheid niet op andere wijze te zien.

De abundantie  $Y^+$  van geïoniseerd helium, dat wil zeggen de verhouding van de hoeveelheid geïoniseerd helium tot de hoeveelheid geïoniseerd waterstof, in stervormingsgebieden wordt over het algemeen constant verondersteld. Deze veronderstelling lijkt redelijk daar het niet waarschijnlijk is dat verschillende elementen in het interstellair medium niet volledig door elkaar gemengd zijn. Derhalve verwacht men in gebieden van geïoniseerd gas dezelfde helium/waterstof verhouding als in neutraal gas. Algemeen wordt verondersteld dat de abundantie van helium in de zonsomgeving ( $Y=10\%$ ) maatgevend is voor de abundantie van helium in ons melkwegstelsel. Derhalve wordt ook een waarde van  $Y^+ \sim 10\%$  verwacht voor het geïoniseerde gas rond jonge sterren.

In het onderzoek is echter naar voren gekomen, dat in een aantal stervormingsgebieden lokaal zeer grote variaties voorkomen in de abundantie van geïoniseerd helium. Er werden gebieden gevonden met zeer lage waarden ( $Y^+$  minder dan  $4\%$ ) en gebieden met zeer hoge waarden ( $Y^+ \geq 30\%$ ). Dergelijke hoge waarden zijn nog nooit eerder gemeten. De lage abundantie van geïoniseerd helium kan verklaard worden door aan te nemen dat ofwel de jonge ster, verantwoordelijk voor de ionisatie van het gas, straling uitzendt die helium niet kan ioniseren, ofwel door aan te nemen dat straling die helium kan ioniseren geabsorbeerd wordt door stof in de HII-gebieden. De hoge waarden van  $Y^+$  kunnen wijzen op de aanwezigheid van een meer geëvolueerde ster die materiaal, verrijkt met grote hoeveelheden helium, in het interstellair medium gedeponneerd heeft. Deze ster is onzichtbaar, daar er zich tussen de HII-gebieden en ons zeer grote hoeveelheden stof bevinden waardoor het zichtbare licht, uitgezonden door die ster, absorbeerd wordt. Een andere mogelijke verklaring voor de hoge waargenomen abundanties van geïoniseerd helium is dat niet alle waterstof in het HII gebied geïoniseerd is. Dit zou het geval kunnen zijn indien er zich stof binnen het HII-gebied bevindt, dat primair de fotonen absorbeert die waterstof ioniseren.

Over de koele gebieden direct buiten HII gebieden was nog zeer weinig bekend. Als onderdeel van het huidige onderzoek is de lijnemissie van een aantal van deze gebieden voor het eerst in kaart gebracht. Met de aldus verkregen gegevens is getracht schattingen te geven van de dichtheids- en temperatuursverdeling van die gebieden. Ook is het mogelijk gebleken vrij gedetailleerde verbanden aan te geven tussen de HII-gebieden, de koele  $H^0$ - en CII-gebieden en het moleculaire materiaal waar de stervormingsgebieden in ingebed zijn.

Radio-recombinatielijnen blijken inderdaad goed gebruikt te kunnen worden voor het bestuderen van de kinematica van geïoniseerde gassen. De waarnemingen van de planetaire nevel NGC 7027 laten zien dat deze nevel expandeert langs haar lange as. De waarnemingen van het melkwegstelsel M82 geven aan dat het centrale deel van dit stelsel roteert als een vast lichaam. In beide gevallen is het optisch bestuderen van de objecten niet mogelijk daar zij verscholen gaan achter grote hoeveelheden stof.

Het moge du  
aantal personen  
dat U nu net u  
voor hun bijdr

In de eerste p  
de niet aflaten  
Zelfs van uit o  
onderzoek aan

Ook mijn tw  
totstandkomin

De voltallige  
sfeer waarin h  
werken is.

Tom Ooster  
derlandse sam

Jaqueline va  
de verwerking

*I would like*

*Ed Churchwel*

*Pat Palmer,*

*Jan Simpson*

*staff of the A*

*Radio Astron*

*Infra-Red Te*

*of Chicago, t*

*the Washbur*

Voor het  
liteiten van

Gedurenc  
organisatie  
verder fina

Universitei

Georg H  
hij, tot op

Wiebe J  
zorgen van

Tenslot  
mij zeer a

werk en s  
nog heel  
te voltoc

43720

1987